



ESTIMACIÓN DEL RETROCESO GLACIAR EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA PARA EL PERIODO 2000-2020 A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT

ESTIMATION OF GLACIER RETROCESS IN THE SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA FOR THE PERIOD 2000-2020 FROM LANDSAT IMAGES

Nombre del estudiante: Fernando Andrés Díaz Plazas
Código: 3101524
Profesión: Ingeniero geógrafo y ambiental

Director:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
JUNIO DE 2021
BOGOTÁ-COLOMBIA**

ESTIMACIÓN DEL RETROCESO GLACIAR EN LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA PARA EL PERIODO 2000-2020 A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT

ESTIMATION OF GLACIER RETROCESS IN THE SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA FOR THE PERIOD 2000-2020 FROM LANDSAT IMAGES

Fernando Andrés Díaz Plazas
Ingeniero Geógrafo y Ambiental.
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
est.fernando.diaz@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Las coberturas glaciares son escenarios de importancia ambiental y cultural para los territorios en los que se encuentran, por tal motivo se ve la importancia de garantizar su protección y conservación, así como la realización de estudio que permita identificar su estado y variaciones en el tiempo. Dicho esto, se realizó este estudio de retroceso glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta a partir de imágenes satelitales y técnicas de fotointerpretación como lo son la clasificación supervisada, las cuales permitieron definir y separar las coberturas glaciares para los dos años de estudio donde posteriormente fue posible identificar las zonas de mayor pérdida para la zona de estudio.

Palabras Clave: Clasificación supervisada, retroceso glaciar, fotointerpretación, glaciar, imágenes satelitales.

ABSTRACT

Glacier covers are scenarios of environmental and cultural importance for the territories in which they are found, for this reason the importance of guaranteeing their protection and conservation is seen, as well as carrying out a study that allows identifying their status and variations over time. That said, this study of glacial retreat was carried out in the Sierra Nevada de Santa Marta from satellite images and photointerpretation techniques such as supervised classification, which allowed defining and separating the glacier covers for the two years of study where later it was possible to identify the areas of greatest loss for the study area.

Keywords: Supervised classification, glacier retreat, photointerpretation, glacier, satellite imagery.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares pueden ser entendidos como masas de hielo en movimiento las cuales presentan una dependencia directa de las condiciones atmosféricas presentes en la zona [1]; los cuales se encuentran compuestos por una zona de acumulación, en la cual la nieve acumulada se transforma en masa de hielo y una zona de ablación donde se presenta pérdida de masa debido a insolación, siendo a su vez divididas por la línea de equilibrio glaciar la cual se caracteriza por ser la zona donde la temperatura media anual es de 0 °C [2].

Para el caso de las zonas tropicales y especialmente en los Andes se presentan los denominados glaciares de montaña, los cuales se caracterizan por su alta sensibilidad a raíz de cambios climáticos, debido a que en su mayoría se encuentran ubicados en zonas con temperatura de fusión; siendo menos sensible los que se encuentran a una mayor altura (aprox 5800/6000 m) los cuales son conocidos como glaciares fríos [3].

Por otra parte, los glaciares juegan un importante papel en el régimen hidrológico de las áreas en las que se encuentran. Si bien la pérdida de estas coberturas en los andes implicaría un aumento de 1 mm en el nivel de mar a nivel global, una disminución de estos afectaría en gran proporción los cuerpos de agua que se alimentan de estos, especialmente en las zonas secas de Perú [4].

En las últimas décadas se viene evidenciado un aumento en la temperatura atribuida en gran proporción a las actividades humanas, hecho que ha sido más marcado en los Andes donde se registra un aumento aproximado de 0.8 °C en las últimas décadas así como el aumento de la cota de fusión, disminuyendo así la proporción de glaciares en estas zonas [5]. A su vez, el retroceso glaciar es un claro indicador de los cambios de temperatura y precipitación que se vienen presentando en los últimos años debido a su alta sensibilidad a estos dos factores [5-1].

El siglo XX marcó un gran cambio en los glaciares colombianos, presentándose así la desaparición de ocho glaciares entre 1940 y 1985 los cuales fueron: volcán Puracé, volcán Galeras, volcán Sotaró, volcán Chiles, volcán Pan de Azúcar, volcán Quindío, volcán del Cisne y volcán Cumbal, adicionalmente se prevé que los siguientes en desaparecer serán el Nevado del Ruiz y el del Tolima [6].

Para el año 2010 Colombia contaba con 45.3 km² de glaciar los cuales se encuentran en 6 nevados denominados: Volcán Nevado del Huila, Volcán Nevado del Tolima, Volcán Nevado de Santa Isabel, Volcán Nevado del Ruíz, Sierra Nevada de El Cocuy y Sierra Nevada de Santa Marta [1].

La Sierra Nevada de Santa Marta representa el 16% de los glaciares del país y posee un área de 7.4 km², siendo a su vez el macizo litoral más alto del mundo. Este tipo de cobertura empieza a hacerse presente desde los 4900 msnm hasta las cumbres Colón y Simón Bolívar que alcanzan una altura de 5775 msnm [1-1]. Por otra parte se caracteriza por ser hogar de diferentes comunidades indígenas (Kogui, Arhuaco, Wiwa y Kankuamo) y ser nacedero de varios ríos importantes de la región como el Palomino y aportar también a las aguas del guatapurí [1-2].

A partir de lo expuesto anteriormente se ve la importancia de los glaciares principalmente para las zonas aledañas a las que se encuentran, siendo así posible ver su papel como recurso hídrico y su papel cultural como en el caso de la Sierra Nevada de Santa Marta al ser hogar de varios grupos indígenas. Por otra parte, estas coberturas de elevada fragilidad presentan un alto atractivo visual y de patrimonio de conservación para los países que las contienen, motivo por el cual se hace necesario ver sus cambios y realizar diversos estudios de las mismas.

Son diversos los estudios que se han realizado respecto a lo concerniente con glaciares, siendo de los más trascendentales los estudios de la pérdida de los mismos a raíz del cambio climático que se está presentando, siendo este un problema el cual debe ser abordado debido a las implicaciones que puede generar a futuro.

La presente investigación busca estimar el retroceso del glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta, estableciendo así las áreas perdidas de esta cobertura en el periodo 2000 – 2020, así como la zona más afectada o que más pérdida presenta. Al ser este estudio realizado mediante técnicas de fotointerpretación y teniendo como insumo imágenes satelitales del satélite Landsat, se centrarán los esfuerzos y resultados en la obtención de valores de área que permitan estimar la pérdida de cobertura presentada en la zona, el cual se realizará con la utilización de imágenes Landsat y el software Erdas en el cual se realizará una clasificación supervisada, la cual consiste en conocer las coberturas presentes de la zona y asignarles una categoría específica [7].

Posteriormente a través del software ArcGIS se realizará el cálculo del área inicial (año 2000) y final (2020), procediendo a calcular la diferencia de área que permitirá estimar la cantidad perdida de esta cobertura para este periodo. Finalmente por medio de visualización será posible determinar las zonas más afectadas por este fenómeno para este nevado.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Identificación de Glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta

Para la identificación de la cobertura glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta se utilizaron imágenes Landsat obtenidas del servicio geológico de Estados Unidos a través de su plataforma earth explorer, la cual provee imágenes satelitales de diferentes sensores sin costo, entre otras funciones; permitiendo obtener información para diversos estudios de acuerdo al área de interés deseada [8]. En el criterio de selección de dichas imágenes se buscó que la nubosidad presente en ellas fuera inferior al 30% y que visualmente interfiriera lo menos posible con el nevado, lo que dio como resultado las siguientes imágenes presentadas en la tabla 1:

Tabla 1: Imágenes utilizadas para el estudio

Nombre archivo	Satélite	Número de bandas	Fecha de captura
----------------	----------	------------------	------------------

LT05_L1TP_008053_20000907_20161213_01_T1	Landsat 5	6	2000-09-07
LC08_L1TP_008053_20200306_20200314_01_T1	Landsat 8	11	2020-03-06

Después de obtener las imágenes satelitales del estudio, se procedió a realizar una clasificación supervisada por medio del software ERDAS ENGINE 2020, la cual consiste en categorizar la imagen por clases a partir de áreas de entrenamiento, es decir, se categoriza en clases medidas por el observador a partir de conocimiento preestablecido de la zona de estudio, siendo este un proceso manual realizado por la persona [9].

Para el proceso de clasificación de las imágenes se optó por primero hacer un corte de las mismas en la zona de estudio específica debido al amplio tamaño de la imagen, la cual abarca zonas que no hacían parte del interés del estudio, seleccionándose el espacio deseado en el cual se encuentra la cobertura glaciar como se ve en las figuras 1 y 2.

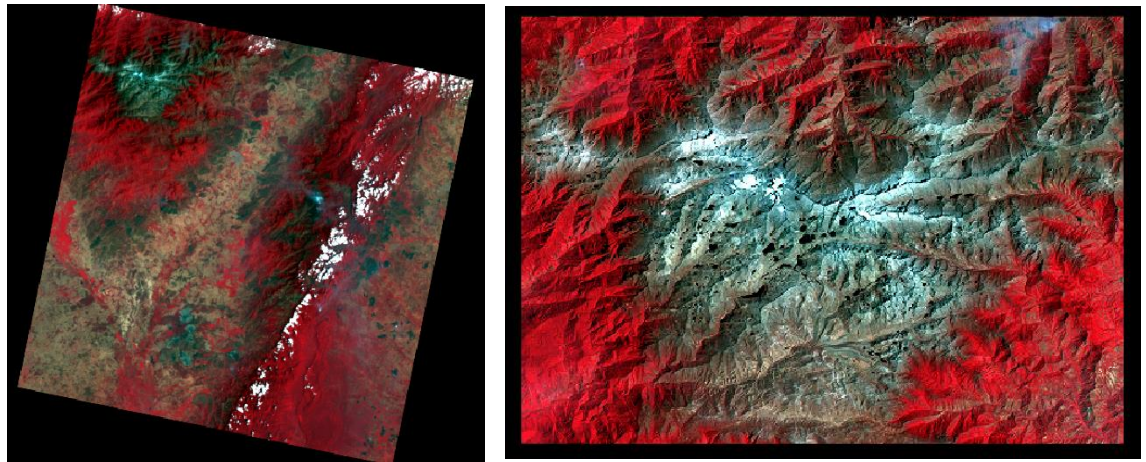


Figura 1: Recorte de la zona de estudio imagen Landsat 8

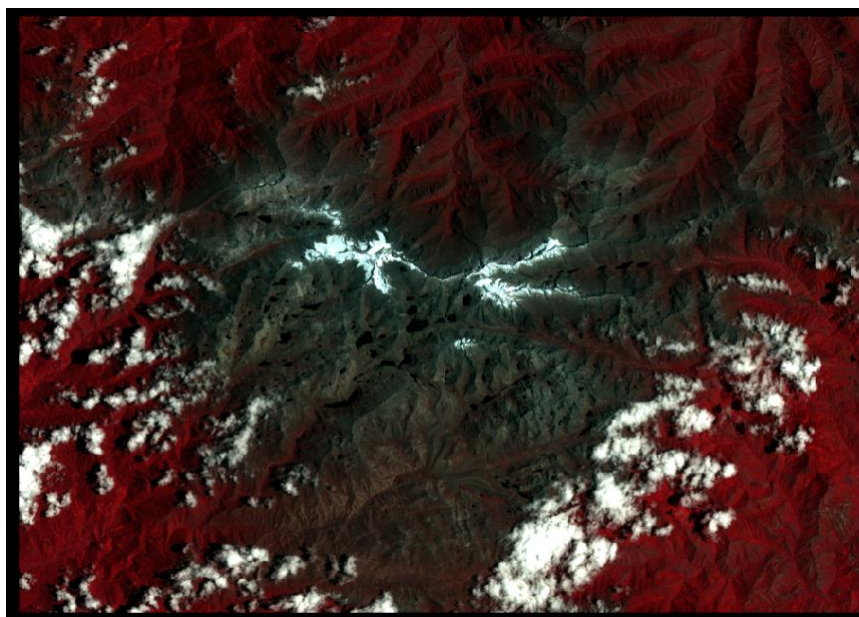


Figura 2: Recorte de la zona de estudio imagen Landsat 5

Posterior a la selección del área deseada de la imagen se realizó el primer paso de la clasificación supervisada el cual consiste en la identificación de las zonas de entrenamiento, las cuales son tomadas en el software ERDAS IMAGE 2020 por medio de la herramienta Signature Editor, tomando como base de clasificación las coberturas de la tierra disponibles en el SIAC, realizando este proceso para ambas imágenes (figuras 3 y 4), identificando las coberturas principales que son: cuerpos de agua, herbazal, glaciar, afloramiento rocoso, arbustal, bosque y nubes para la imagen Landsat 5.

Signature Editor (firma_l8.sig)													
File Edit View Evaluate Feature Classify Help													
Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A
1	Agua		0.000	0.000	1.000	1	1	835	1.000	✓	✓	✓	✓
2	Herbazal		0.824	0.706	0.549	2	2	1321	1.000	✓	✓	✓	✓
3	Glaciar		0.498	1.000	0.831	3	3	2882	1.000	✓	✓	✓	✓
4	Afloramiento rocoso		0.753	0.753	0.753	4	4	1000	1.000	✓	✓	✓	✓
5	Arbustal		1.000	0.843	0.000	5	5	3000	1.000	✓	✓	✓	✓
6	Bosque		0.000	0.392	0.000	6	6	3002	1.000	✓	✓	✓	✓

Figura 3: Zonas de entrenamiento imagen Landsat 8

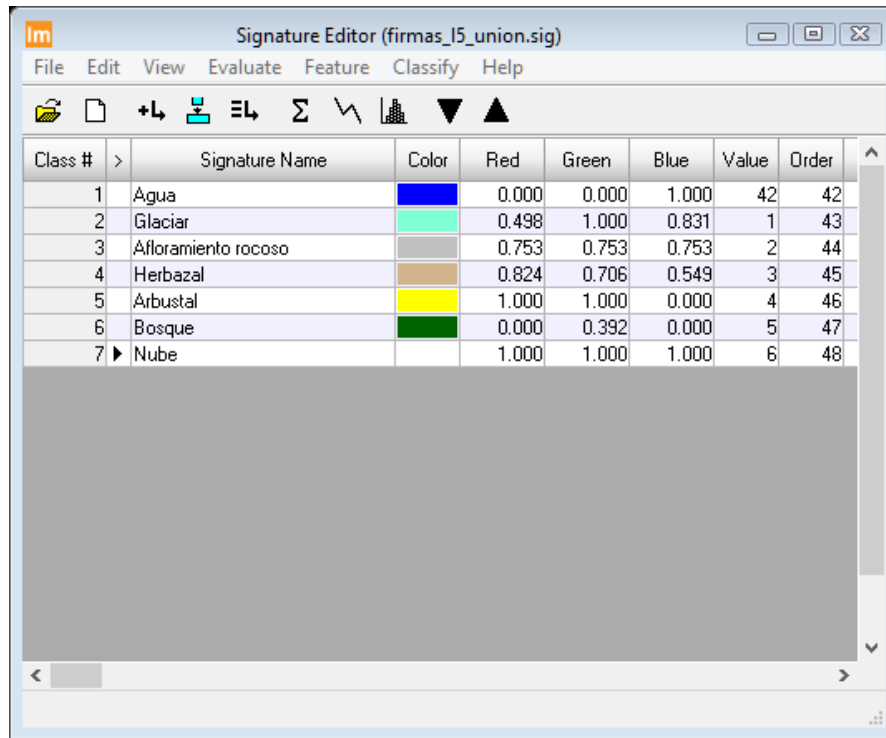


Figura 4: Zonas de entrenamiento imagen Landsat 5

Una vez tomadas las zonas y categorizadas como se muestra en las figuras 3 y 4, se procedió a correr la clasificación supervisada con la opción supervised disponible en la pestaña de classify en la ventana de Signature editor, configurando los parámetros desplegados en la herramienta como se observa en la figura 5.

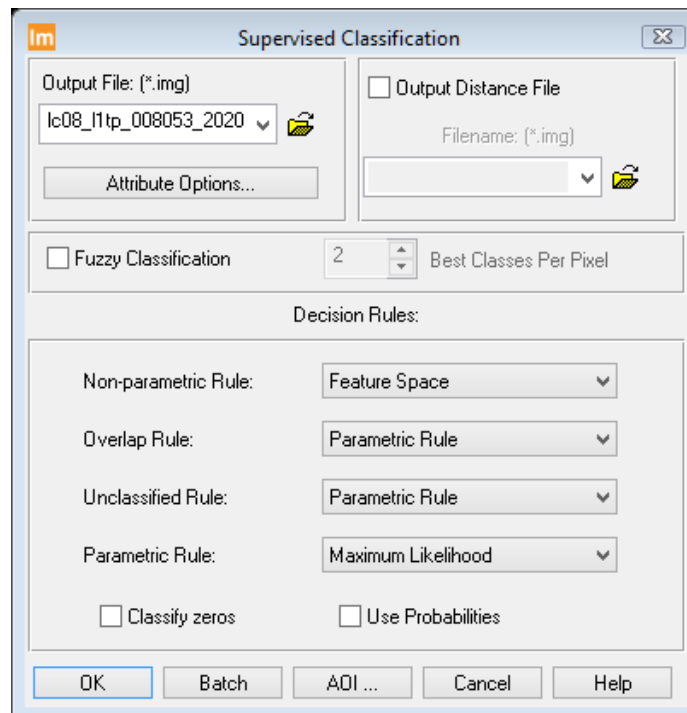


Figura 5: Parámetros establecidos en la herramienta de clasificación supervisada

Al configurar la herramienta y establecer los nombres de los archivos de salida, se generan las imágenes clasificadas por las coberturas previamente identificadas como se muestra en las figuras 6 y 7.

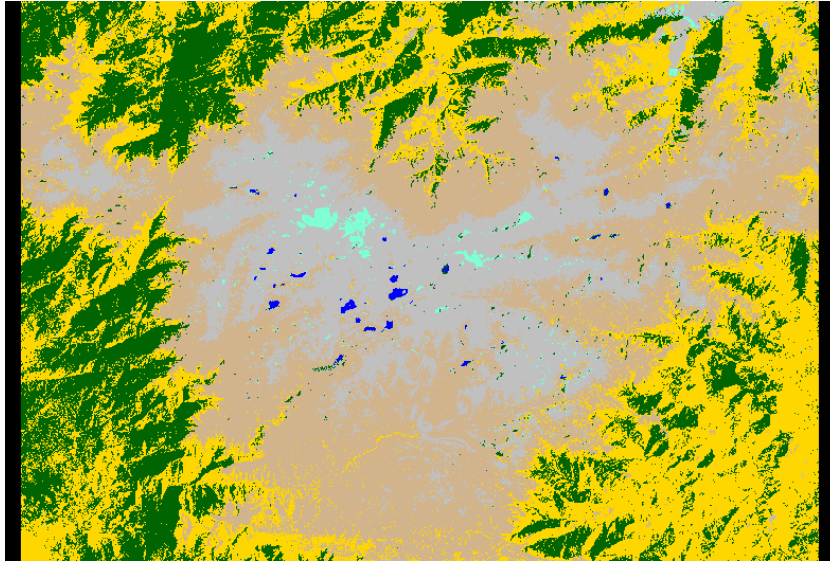


Figura 6: Resultado clasificación supervisada Landsat 8

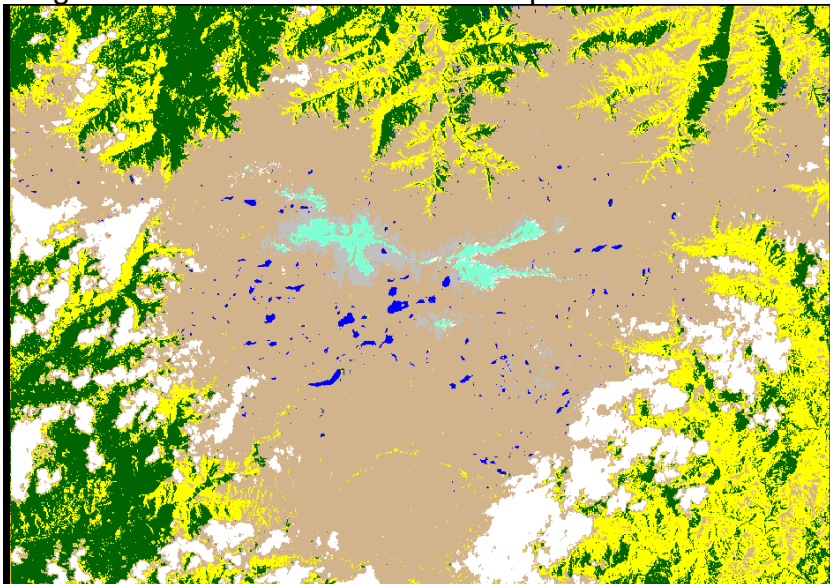


Figura 7: Resultado clasificación supervisada Landsat 5

A partir de la imagen clasificada es posible identificar la cobertura glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual se encuentra categorizada como glaciar y puede ser analizada como elemento independiente en la imagen al verse su tabla de atributos (figura 8 y 9), la cual nos indica el color que se estableció para esta cobertura junto a demás atributos producto de la clasificación.

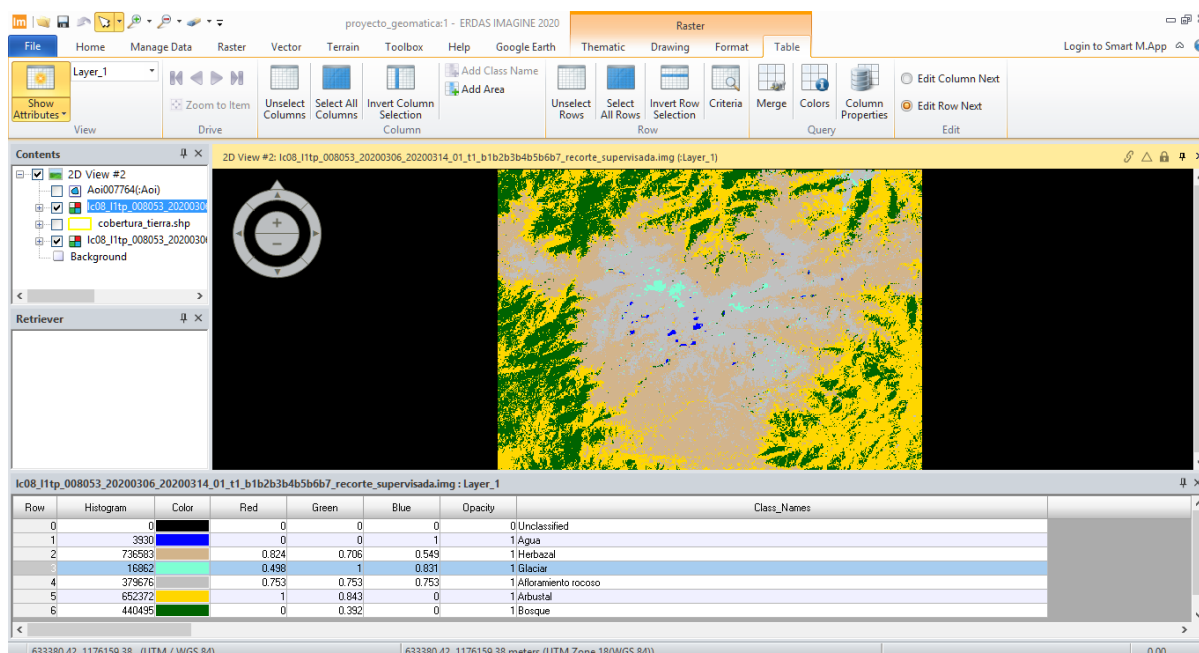


Figura 8: Vista de la cobertura glaciar y sus atributos Landsat 8

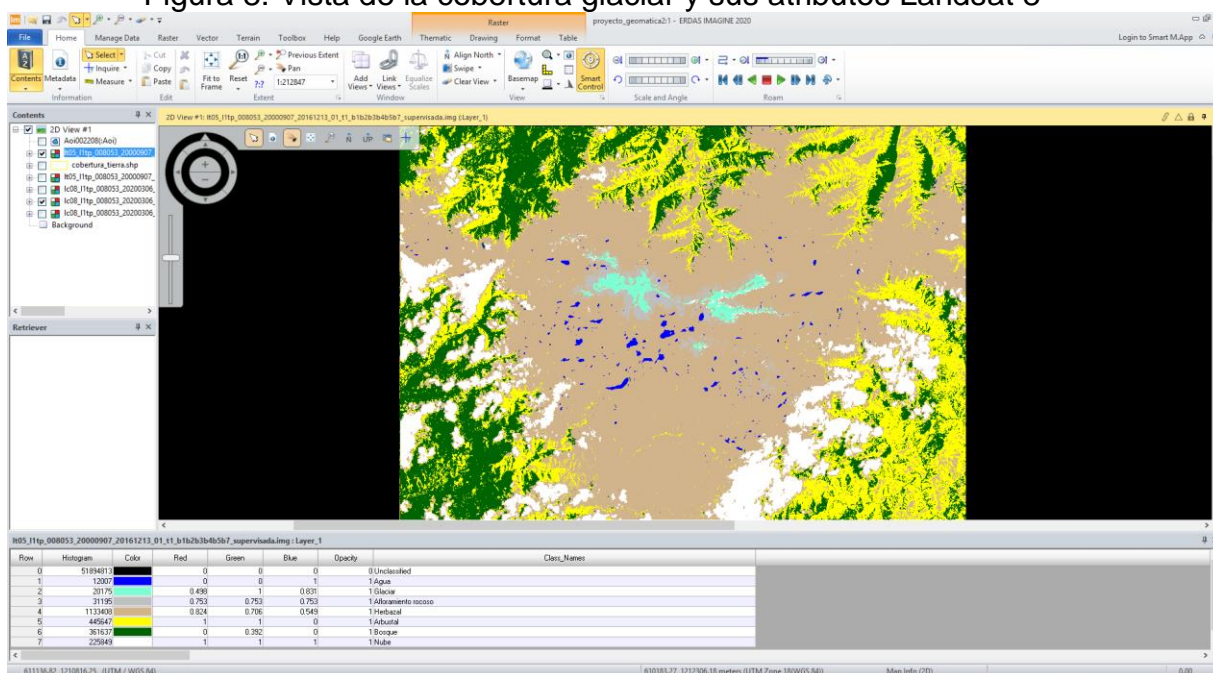


Figura 9: Vista de la cobertura glaciar y sus atributos Landsat 5

1.2 Cálculo de área glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta

Para el cálculo de área y una vista más agrupada de las coberturas se realizó un proceso de generalización el cual busca evitar que se presenten píxeles aislados de una cobertura, lo cual suele ser tratado como resultados inexactos del proceso de clasificación, consistiendo así en un proceso de limpieza de una imagen clasificada a partir de un software de teledetección [10].

El primer paso que se realizó para la generalización fue el uso de la herramienta neighborhood donde se analizan los valores de una clase a partir de los valores vecinos y los agrupa a partir de una matriz definida por el usuario (figura 10); generando que algunos valores aislados se junten a la cobertura de su vecino, presentándose clases más agrupadas como las que se visualizan en la figura 11 y 12.

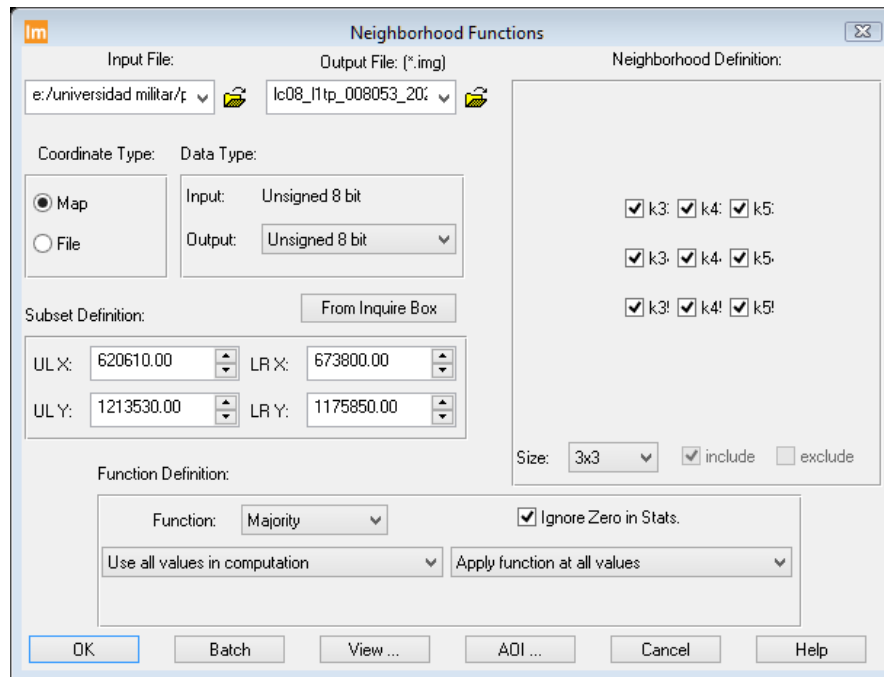


Figura 10: Parámetros de configuración de la herramienta neighborhood.

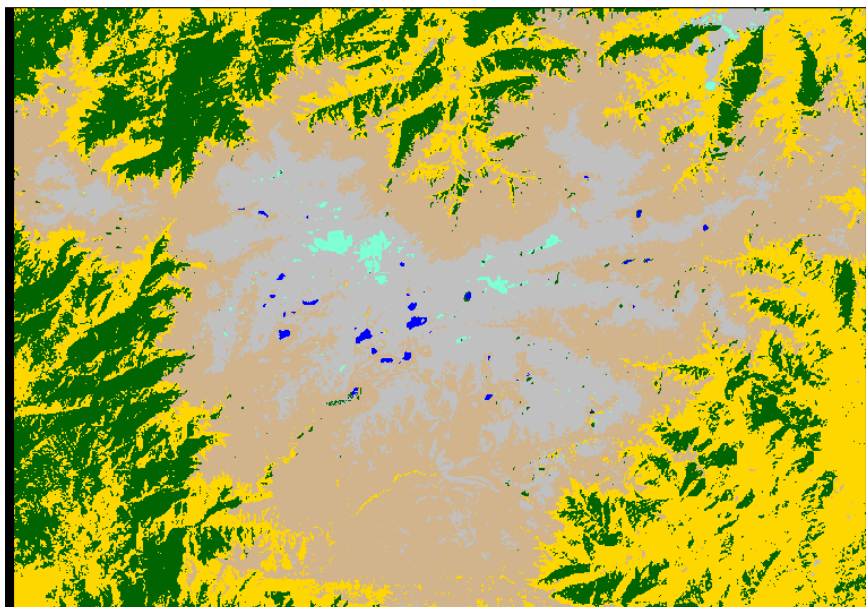


Figura 11: Resultado de la herramienta neighborhood a la clasificación supervisada Landsat 8.

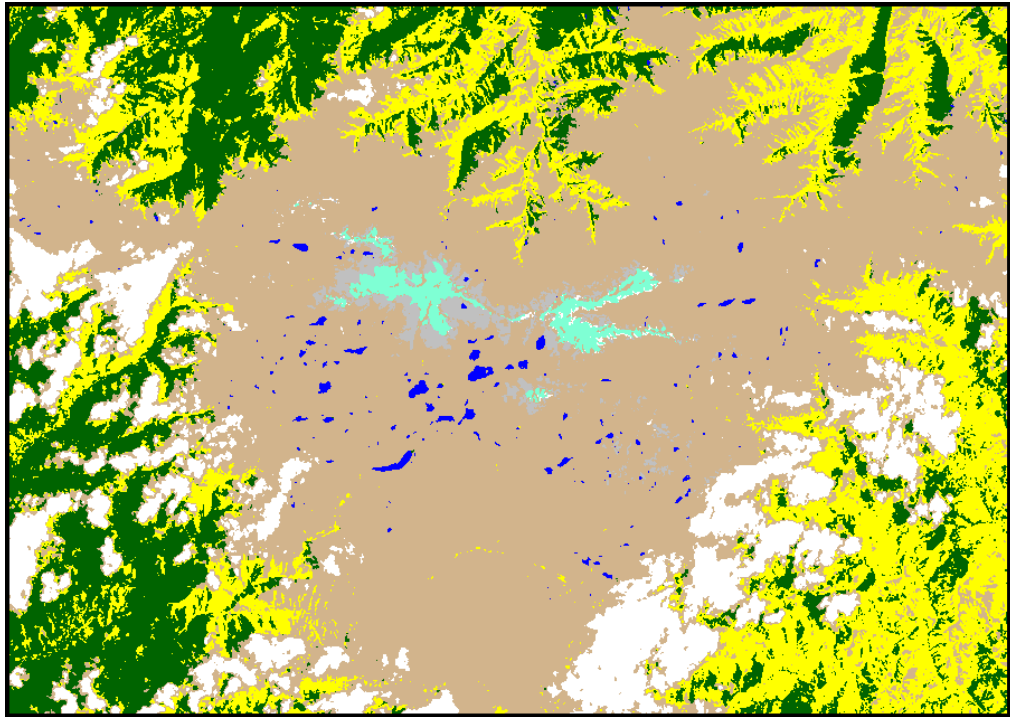


Figura 12: Resultado de la herramienta neighborhood a la clasificación supervisada Landsat 5.

Posteriormente para continuar con este proceso se utilizó la herramienta clump, la cual identifica grupos o clases a partir de la continuidad de píxeles con el mismo valor. Para este caso se presentan cambios en la tabla de atributos, agrupando las clases establecidas en grupos de acuerdo a la similitud de sus valores, cambiando la tabla de seis registros de la figura 5 a uno con 8747 agrupados en las 6 clases establecidas al comienzo de la clasificación como se ve en las figuras 13 y 14.

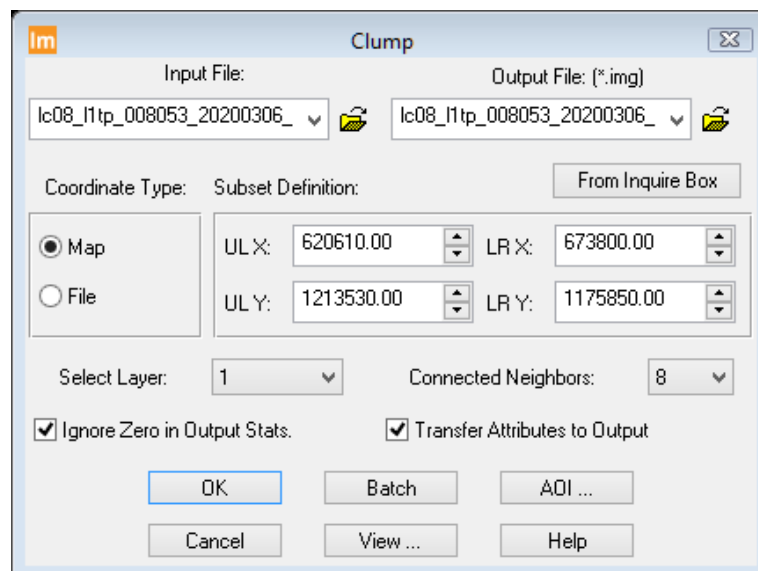


Figura 13: Parámetros de configuración de la herramienta clump.

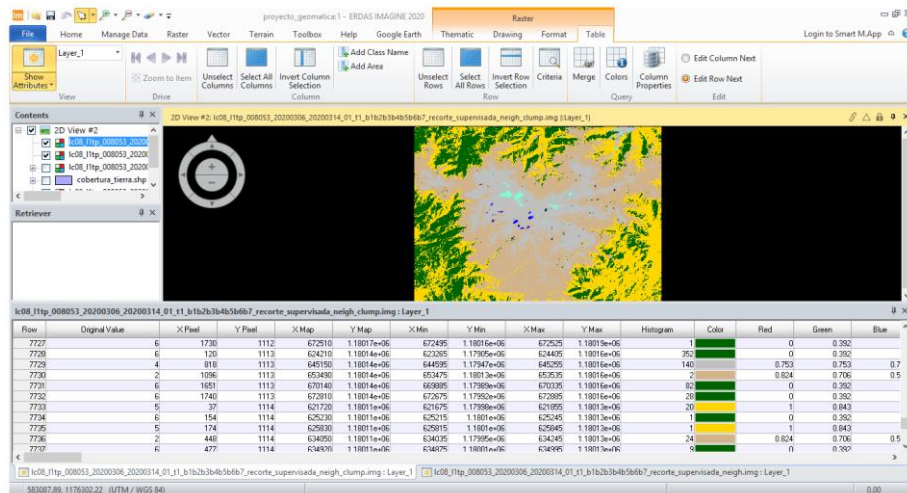


Figura 14: Resultado de herramienta clump.

Seguido a lo anterior se utilizó la última herramienta de este proceso de generalización denominada eliminate el cual consiste en remover los grupos del resultado anterior que son muy pequeños para ser categorizados como cobertura propiamente dicha, uniendo estos a la cobertura que los rodea (figura 15), dando como resultado las coberturas identificadas de forma clara y bien definida como se ve en la figura 16 y 17.

Input File: lc08_11tp_008053_20200306 Output File: (*.img)

Coordinate Type: Map

Subset Definition: From Inquire Box

UL X: 620610.00 LR X: 673800.00

UL Y: 1213530.00 LR Y: 1175850.00

Select Layer: 1

Ignore Zero in Stats: ☒

Minimum: 5.00 hectares Output: Unsigned 8 bit

Buttons: OK, Batch, AOI ..., Cancel, View ..., Help

Figura 15: Parámetros de configuración de la herramienta eliminate.

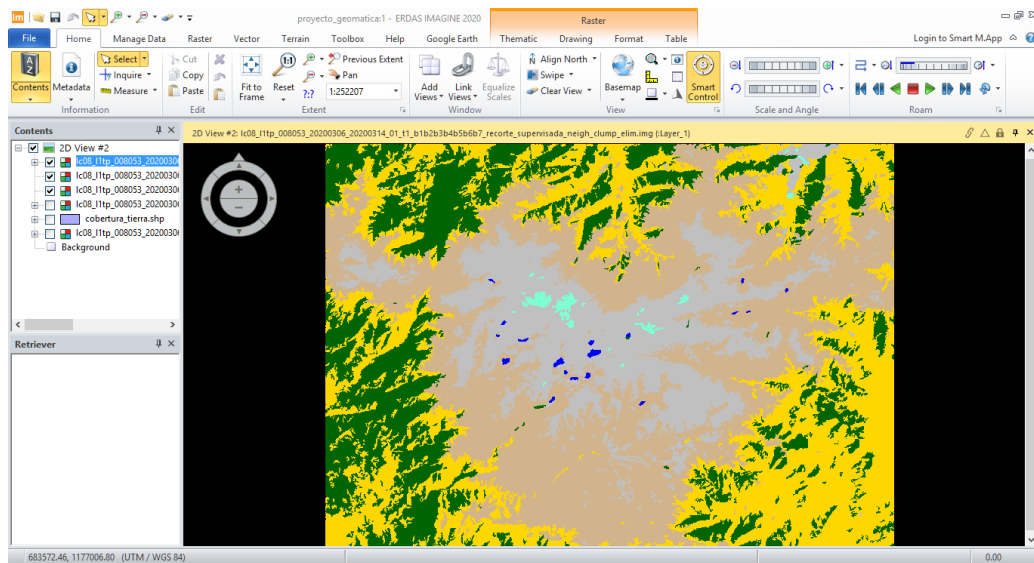


Figura 16: Resultado de herramienta eliminate Landsat 8.

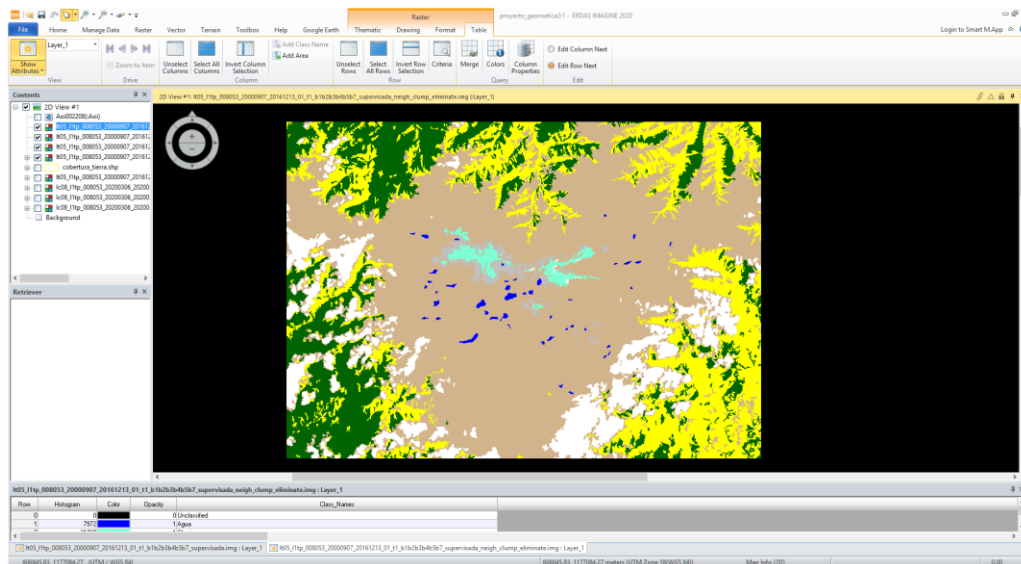


Figura 17: Resultado de herramienta eliminate Landsat 5.

Una vez se tienen los límites de las coberturas más claros y definidos se realiza el cálculo de áreas en hectáreas de las coberturas presentes en la imagen, lo que nos permite identificar el área que se tenían de glaciación para el año 2000 y 2020.

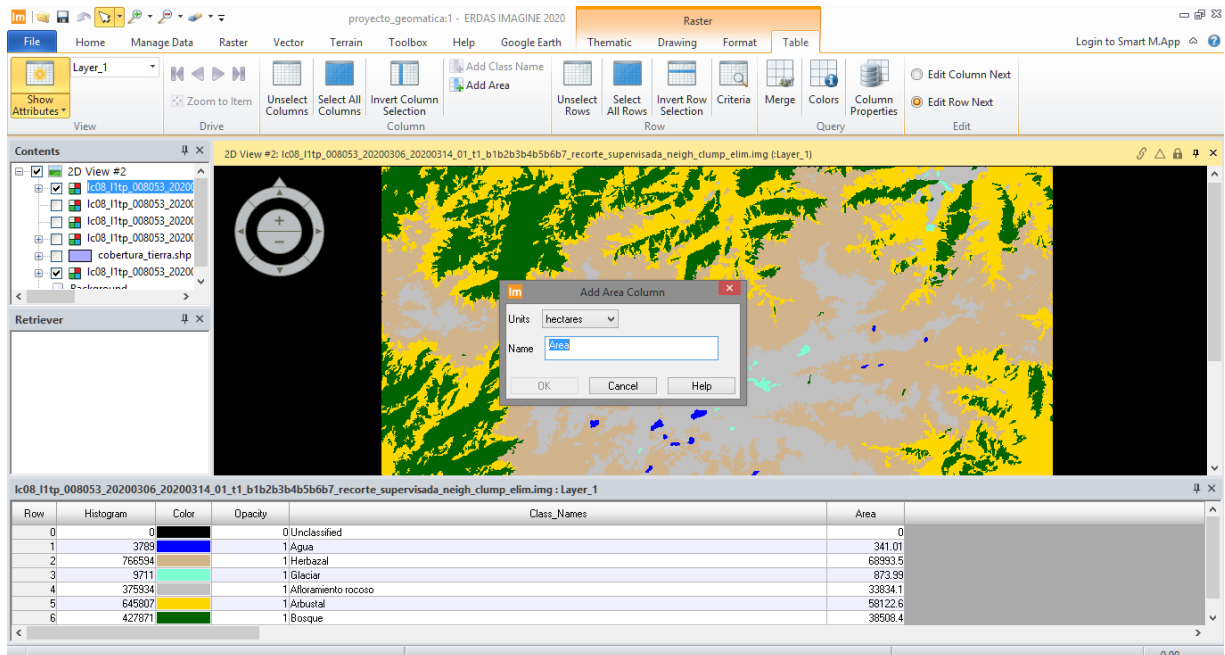


Figura 18: Cálculo de áreas de las coberturas identificadas Landsat 8.

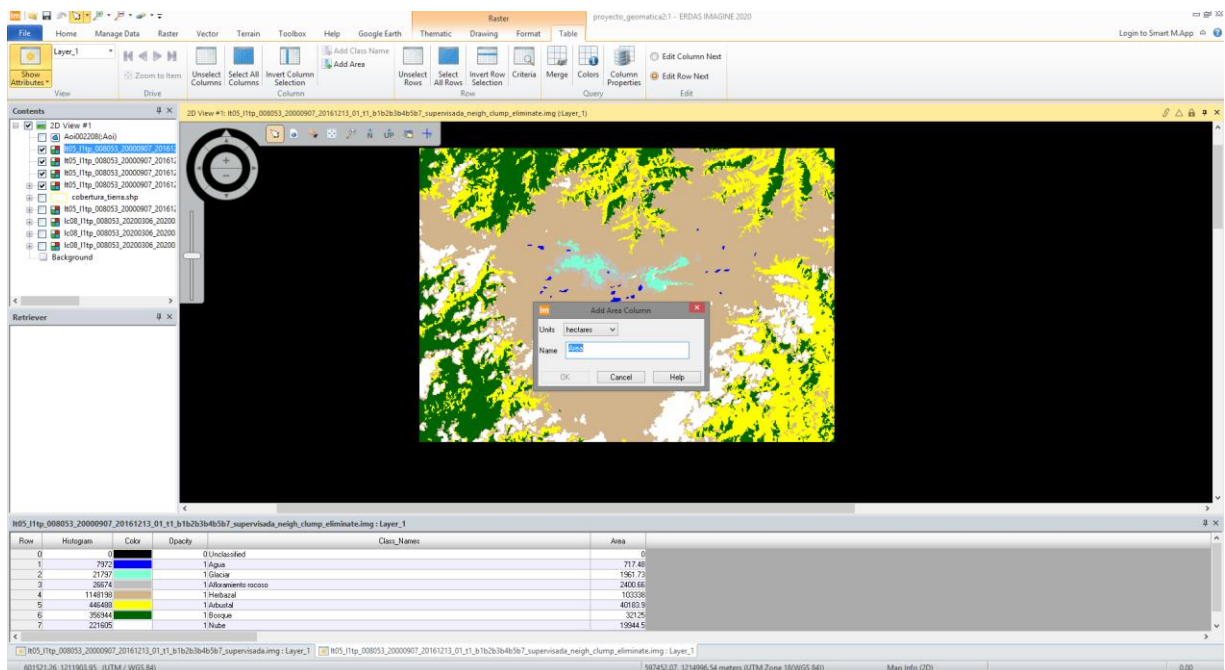


Figura 19: Cálculo de áreas de las coberturas identificadas Landsat 5.

1.3 Identificación de la zona con mayor pérdida de glaciar

Para identificar de manera más clara las zonas con mayor pérdida de glaciar se optó por convertir las imágenes clasificadas obtenidas previamente a capas vectoriales por medio del uso del software ArcGIS a través de su herramienta raster to polygon, la cual despliega los parámetros de configuración (figura 20) en la cual

se escoge el campo con el nombre de las coberturas para realizar este procedimiento.

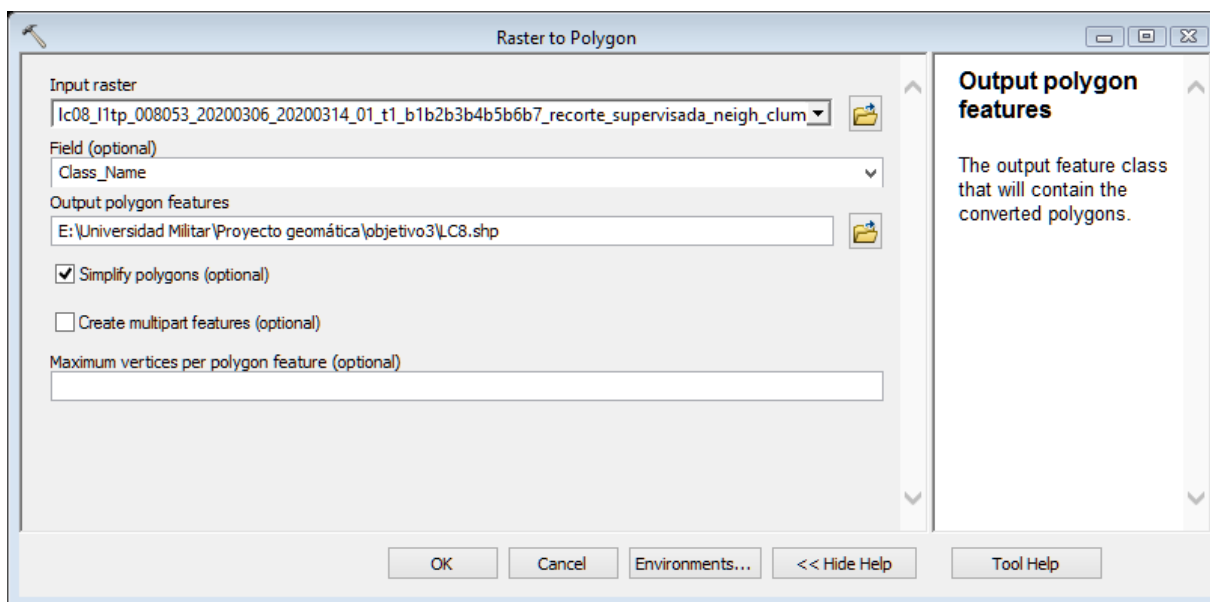


Figura 20: Parámetros de configuración de la herramienta Raster to Polygon.

Posteriormente se seleccionó la cobertura glaciar de las dos imágenes a partir de selección de atributos (figura 21) y se extrajeron en archivos shapefile por separado para obtener una mejor visualización de la diferencia entre las dos coberturas (figura 22).

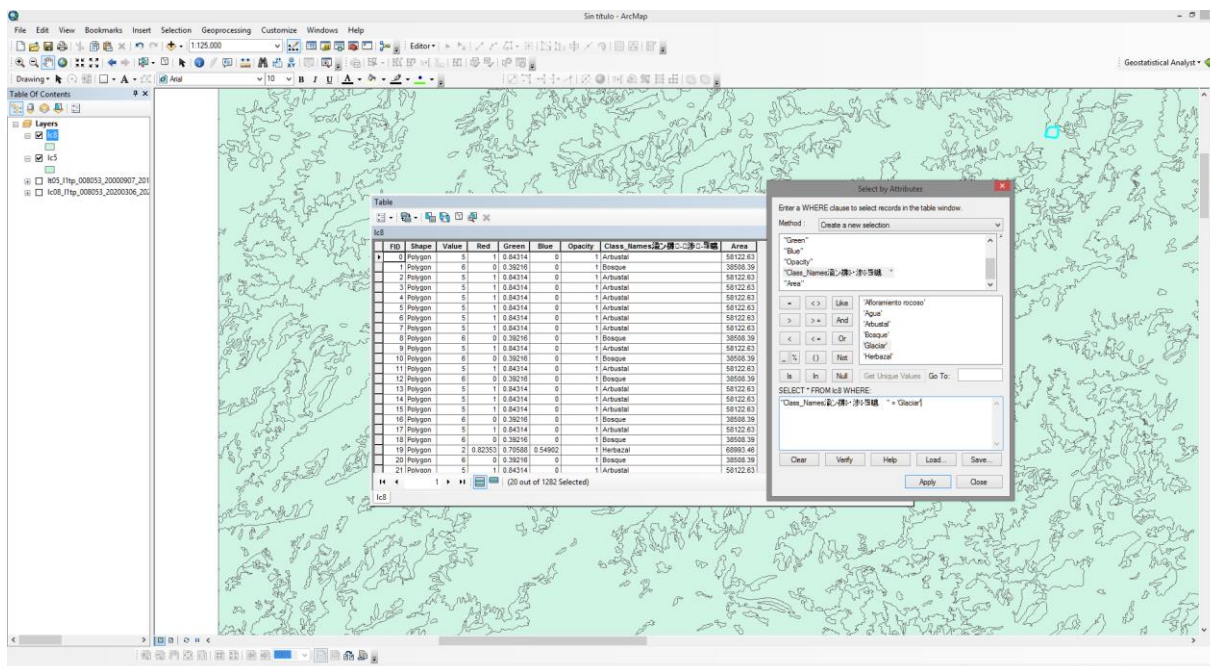


Figura 21: Selección de la cobertura glaciar.

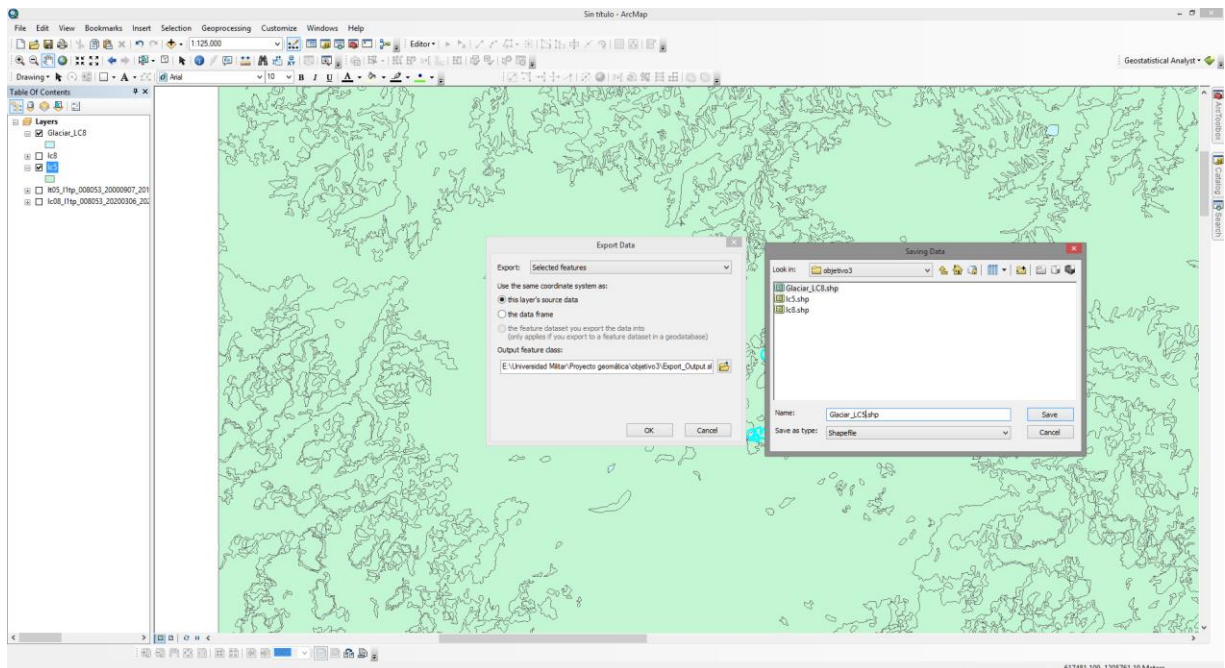


Figura 22: Exporte cobertura glaciar a archivo independiente.

Finalmente por medio de la herramienta erase se identificaron las áreas de pérdida de cobertura glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta generándose el polígono con las áreas perdidas de esta cobertura.

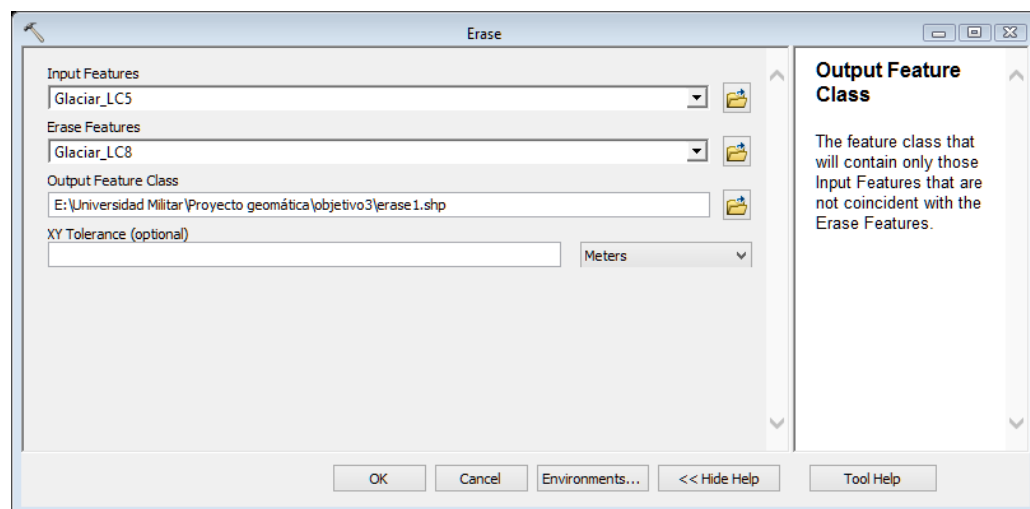


Figura 23: Parámetros de configuración de la herramienta erase.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La identificación de la cobertura glaciaria en las imágenes Landsat se encuentra dividida en dos partes: la primera correspondiente a la identificación visual por medio de la selección de colores por cobertura y la segunda por área en la cual se determina la superficie de esta cobertura en la imagen. Ambas partes son identificadas por medio de la clasificación supervisada ya que se segregaron y agruparon las coberturas entre sí por medio de colores y con base en estos grupos agrupados se obtuvieron las áreas de las mismas.

Para la identificación visual se obtuvo como resultado lo presentado en la figura 24 y 25, donde se presentan las coberturas identificadas en la imagen con su respectivo color, siendo la cobertura glaciaria representada por el color aguamarina. Adicionalmente se identificaron las coberturas vecinas para generar una adecuada clasificación de la zona seleccionada.

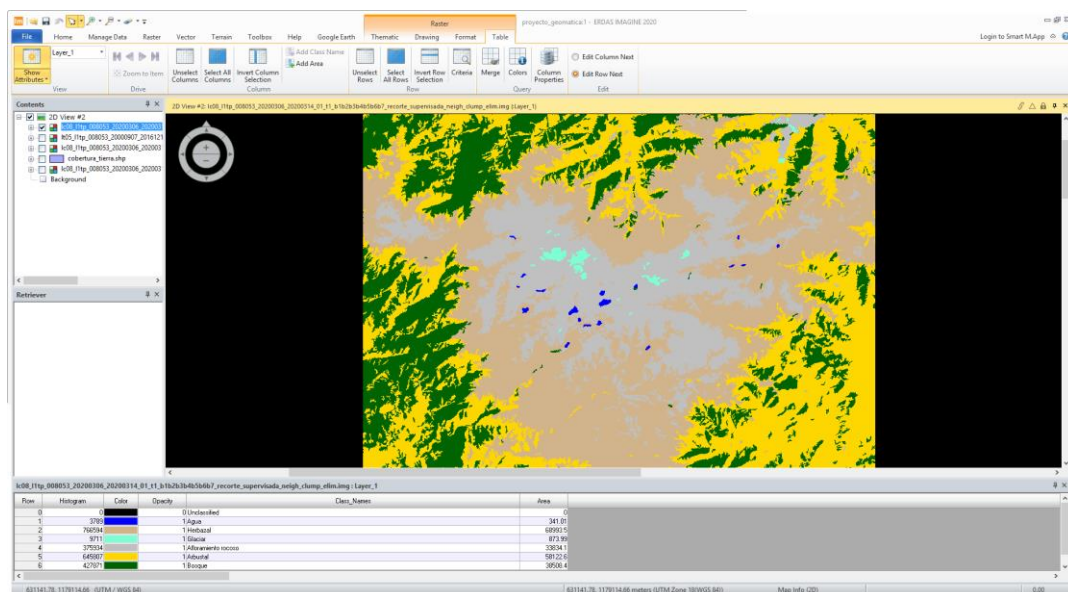


Figura 24: Identificación visual de las coberturas de la Sierra Nevada de Santa Marta Landsat 8.

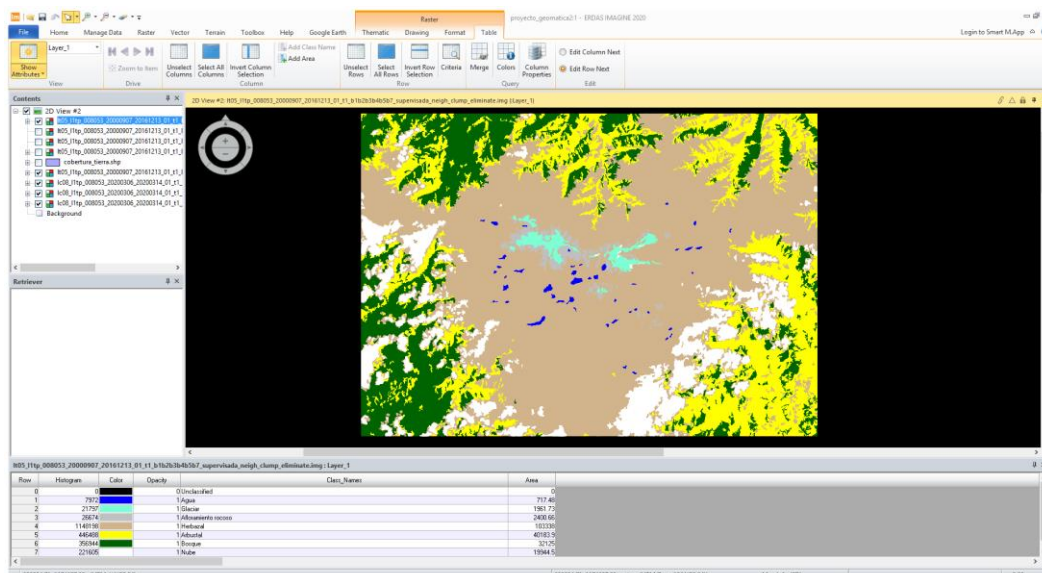


Figura 25: Identificación visual de las coberturas de la Sierra Nevada de Santa Marta Landsat 5.

En el cálculo de área de las coberturas se pudo identificar para la imagen Landsat 8 una superficie glaciara de 873.99 Ha para el año 2020, adicionalmente fueron determinadas las áreas de las coberturas vecinas como se observan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2: Áreas de la clasificación supervisada Landsat 8

Row	Histogram	Color	Opacity	Class_Names	Área
0	0			0 Unclassified	0
1	3789			1 Agua	341.01
2	766594			1 Herbazal	68993.5
3	9711			1 Glaciar	873.99
4	375934			1 Afloramiento rocoso	33834.1
5	645807			1 Arbustal	58122.6
6	427871			1 Bosque	38508.4

Tabla 3: Áreas de la clasificación supervisada Landsat 5

Row	Histogram	Color	Opacity	Class_Names	Área
0	0			0 Unclassified	0
1	7972			1 Agua	717.48
2	21737			1 Glaciar	1961.73
3	26674			1 Afloramiento rocoso	2400.66
4	1148198			1 Herbazal	103338
5	446488			1 Arbustal	40183.9
6	356344			1 Bosque	32125
7	221605			1 Nube	19944.5

De lo anterior se puede determinar que para el año 2020 el 0.04% de la zona estudiada corresponde a la cobertura glaciara, lo que nos muestra la pequeña porción de superficie que posee comparada con su alto nivel de importancia cultural para la comunidades presentes en la zona. Por otra parte se evidencia una diferencia en el área obtenida en el estudio respecto a la presentada por el IDEAM en su estudio, siendo la diferencia aproximadamente 1.34 km² de más en el procedimiento realizado,

hecho atribuible a un posible uso de metodologías distintas o un tiempo de sequía siendo el tiempo de captura de la imagen más favorable para el crecimiento glaciar.

Al realizar la diferencia de área entre las dos imágenes se obtuvo un valor de 376.47 Ha, siendo este valor la pérdida de cobertura en el periodo 2000-2020, el cual es visible espacialmente mediante la figura 26 la cual representa la diferencia espacial entre la cobertura glaciar para los dos años estudiados procesado en el numeral 1.3.

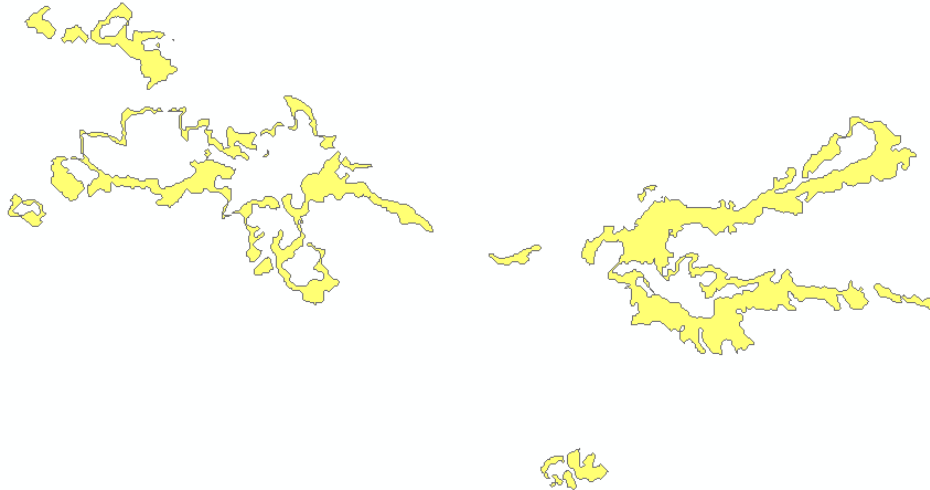


Figura 26: Pérdida de la cobertura glaciar para el periodo 2000 – 2020.

Por medio de la figura anterior es posible identificar una mayor pérdida de la cobertura en la zona oriental al ser esta un polígono más continuo y completo que en la zona occidental siendo probable que esta última se encuentre en una cota altitudinal mayor o que la zona oriental presente recargas de glaciar por temporadas lo que la hace más sensible a las temporadas de lluvia y sequía que se presenten en la zona.

3. CONCLUSIONES

- Por medio de técnicas de fotointerpretación es posible identificar las coberturas presentes en una zona de estudio, así como su superficie aproximada; siendo para este caso una buena aproximación si se comparan con cifras oficiales como las del IDEAM. Por otra parte se debe tener en cuenta los posibles errores que estas técnicas pueden generar en este tipo de estudios como la asignación de píxeles a una cobertura equivocada o falta de una delimitación precisa de las coberturas en las firmas espectrales.
- Visualmente es posible apreciar la diferencia de cobertura glaciar para las dos imágenes, lo que nos muestra la realidad de la reducción de esta cobertura en la Sierra Nevada de Santa Marta, por tal motivo se ve necesario la búsqueda de estrategias que permitan preservar el recurso actual y recuperar en la medida de lo posible esta cobertura tan representativa a nivel cultural y turístico.
- A partir de la clasificación de imágenes satelitales es posible obtener un cálculo de áreas por cobertura, permitiendo para el caso de estudios multitemporales identificar los cambios en proporción de superficie que se presentan en una zona de interés; siendo para este caso la cobertura glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta con una pérdida de cobertura de 376.47 Ha a partir de los insumos y técnicas utilizadas en este cálculo.
- A partir de procesamiento vectorial se puede lograr identificar las zonas con mayores cambios y dónde se encuentran exactamente dichos cambios, permitiendo llegar a analizar las posibles particularidades de un lugar en específico respecto al área de estudio. Adicionalmente, es posible determinar las transformaciones y con los insumos requeridos las razones de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IDEAM. (2012). Glaciares de Colombia, más que montañas de hielo. Bogotá D.C.
- [2] Belmonte, A. (2017). Los glaciares: un recurso educativo dentro y fuera del aula. En: Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 25.1, 88-94.
- [3] Comunidad Andina. (s.f.). Glaciares de los Andes Tropicales: víctimas del Cambio Climático. PRAA.
- [4] Comunidad Andina. (2007) ¿EL FIN DE LAS CUMBRES NEVADAS? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Lima: Typographics E.I.R.L.
- [5] Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hespings, M. y Verbist, K. (2018). Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GRID-Arendal.
- [6] Bernex, N, y Tejada, M. (2010). Cambio climático, retroceso glaciar y gestión integrada de los recursos hídricos. Lima. Foro peruano para el agua.
- [7] Monterroso, M. Guía práctica: clasificación de imágenes satelitales.
- [8] USGS. (2012). EarthExplorer. En: <https://pubs.usgs.gov/gip/136/pdf/gip136.pdf> (10 abril del 2021).
- [9] Universidad de Murcia. (s.f.). Tema9: Clasificación. En: <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema09.pdf> (10 abril del 2021).
- [10] Esri. (2016). Generalización de imágenes de ráster clasificadas. En: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/generalization-of-classified-raster-imagery.htm> (09 mayo del 2021).